



2ND EDITION

SOUND SYSTEMS DESIGN AND OPTIMIZATION

- ◎ 全球首部系统阐述采用现代化工具和实用技术对音响系统进行设计和校准的专著
- ◎ 美国声学大师鲍勃·麦卡锡近 30 年研究成果和实践经验精髓巨献最新版本

音响系统 设计与优化

(第2版)

[美] 鲍勃·麦卡锡 (Bob McCarthy) 著
朱伟 译

中国工信出版集团

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

Media
TECHNOLOGY
传媒典藏

f Focal Press
Taylor & Francis Group

音频技术与录音艺术译丛

2ND EDITION
SOUND SYSTEMS
DESIGN AND OPTIMIZATION

**音响系统
设计与优化**
(第2版)



[美] 鲍勃·麦卡锡 (Bob McCarthy) 著
朱伟 译

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

音响系统设计与优化 : 第2版 / (美) 鲍勃·麦卡锡
(Bob McCarthy) 著 ; 朱伟译. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2017.2

(音频技术与录音艺术译丛)
ISBN 978-7-115-43749-5

I. ①音… II. ①鲍… ②朱… III. ①音频设备—设计 IV. ①TN912.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第260403号

-
- ◆ 著 [美] 鲍勃·麦卡锡 (Bob McCarthy)
译 朱 伟
责任编辑 宁 茜
责任印制 周昇亮
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京缤索印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 880×1230 1/16
印张: 36.5 2017年2月第1版
字数: 955千字 2017年2月北京第1次印刷
- 著作权合同登记号 图字: 01-2010-7696号
-

定价: 229.00元

读者服务热线: (010) 81055339 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第 8052 号

内容提要

本书对利用现代的技术和工具对音响系统的设计和调校这一当前扩声领域热门的问题进行了系统的理论阐述和分析。

本书由 3 篇，共 13 章构成。

第 1 篇讲“音响系统”，其目的是探究声音传输系统、人耳听觉和扬声器的相互作用。该部分全面地讲解了信号的传输流程、途经可能遇到的一些因素以及终端如何接受信号。第 2 篇讲“设计”，它应用了第 1 篇所讲的知识去设计一个音响系统。其目的是广泛地理解和创建一个成功的传输 / 接受模型设计所需要的工具和技术。第 3 篇介绍“优化”，其重点是对设计和安装的测量，以及空间中的检证和校准。

本次更新的第 2 版，在理念上作了一定的改变，将第 1 版的内容进行了重新的修订和整合，使其更富逻辑性和系统性，增加了 3 章内容，其中第 13 章是全新的内容，主要是针对实际扩声系统的案例进行分析。

版权声明

Sound Systems: Design and Optimization, 2nd Edition by Bob McCarthy.

ISBN 978-0-240-52156-5

Copyright©2010 by Focal Press.

Authorized translation from English language edition published by Focal Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下，Focal 出版公司出版，并经其授权翻译出版。版权所有，侵权必究。

POSTS & TELECOM PRESS is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书简体中文版授权由人民邮电出版社独家出版，仅限于中国大陆境内销售。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或发行本书中的任何部分。

本书封底贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签，无标签者不得销售。

丛书编委会

主任：李 伟

编 委：（按姓氏笔画排序）

王 珏 李大康 朱 伟

陈小平 胡 泽

献 辞

梦里寻他千百度，蓦然回首，他在灯火阑珊处。
仅此献给我的生命之爱 Merridith !

追思 – Don Pearson

在本书的编写过程中，业内最为受人爱戴，令人尊敬的学术带头人——Don Pearson a.k.a. 博士离我们而去了。本书多次提及这一伟大的名字，我为能结识并与其共事深感荣幸，我从博士那里获益匪浅。正当我们的事业扬帆启程之际，他却离我们而去了。我们对能在他有生之年得到他的言传身教甚感荣幸。他的智慧与才智已化为文字在此呈现给读者，并将继续指引我们前进。

译者序言

如今扩声已经渗透到我们日常生活的方方面面，音响系统的声音质量直接关系到人们的听音感受，比如一场音响、灯光效果俱佳的演唱会会让现场的观众激动不已，然而一场精心策划的演唱会也可能会因为音响效果的问题而让其整体感觉大打折扣；公共场所用于信息发布的扩声系统的音质好坏会直接关系到人们的切身利益。正因为如此，音响系统的设计是至关重要的，但是由于扩声音响系统的音质与安装场所的声学环境紧密相关，所以仅仅凭经验和理论计算来建立起良好的音响系统十分困难，利用各种声场预测程序完成的设计方案可以提高成功的概率和设计效率，但单凭这些就冀期望能有最佳的扩声音响效果是不现实的。要想有好的音响效果，就必须反复多次地进行系统的调校和优化工作。扩声音响系统的重放音质的好坏，在很大程度上取决于系统调整方案的正确与否。Bob 先生的这部专著正是从调整优化的角度来展开论述的。

Bob 先生在音响系统的设计和优化方面做了许多开创性的工作，国内的一些同行可能在不同的场合亲身聆听了他的讲演，或者拜读过他所发表的文章或专著。Bob 先生在音响系统设计与优化方面具有十分丰富的经验，同时又有坚实的音响理论基础。本书集中呈现了 Bob 先生在音响

系统的设计与优化方面的研究成果和实践经验的精髓。

正如国外的业界同行所言：撰写一部关于现场演出音响系统测量和优化的专著一直是业内人士梦寐以求而又让人望而生畏的事情，然而 Bob 完成了这一艰巨的任务，他的这一新著为我们提供了非常全面且详细的现场演出音响系统的设计和优化指引。译者本人对此也深有同感。虽然自己长期在高等院校从事相关方面的教学工作，但教学课堂上给学生讲授的只是扩声的一些基础理论知识，而学生在实践环节得到的往往是具体音响系统案例的设计方案，几乎得不到从理论深度系统讲解如何进行音响系统优化的知识。

当我从出版集团的网站上看到这本书的概要时，就产生一种阅读的冲动，想尽快看到这本书。令人欣喜的是，我不久就在中国国家图书馆外文新书阅览室看到了 Bob 先生的这部大作，它给我带来耳目一新的感觉，流畅的文字、清晰精美的彩色插图，更重要的是论述问题的独特视角，让我获益匪浅。更令我感到荣幸是，人民邮电出版社的宁茜女士让我来做本书中文版的译者，尽管学校的工作还十分繁重，但我还是欣然接受了出版社对我的信任。

虽然自己也编写和翻译了一些专业的书籍，但静下心来开始翻译本书时，还是为原著作者渊博的专业知识所深

深地折服,同时也越发担心是否能将原著的思想精髓准确地传达给国内的广大读者。为了能够充分领会原著的核心思想,在翻译过程中我一次次通读原著,对其中关键的章节还多次请教专业的人士,唯恐留下纰漏。在翻译过程中,我们尽一切可能在尊重原著的前提下,用国内读者易于接受的阐述方法来表述原著的思想,并对其中的个别问题用译注的方法表明译者的观点。尽管如此也难免有不足之处,还望广大的读者谅解,并将你们的意见和建议反馈给我们。

在经历了近一年的努力,我们终于可以将中文版(第 1 版)的译文提交给编辑。人民邮电出版社很快将其作为“音频技术与录音艺术译丛”的第一批出版书籍提供给广大的读者,本书一经面世,受到了广大读者的热议和好评,并很快售罄,这给我们这些翻译人员莫大的鼓励。因此,在本书英文版的第 2 版出版之后,我们欣然答应出版社的中文版翻译邀约,我们惟有尽自己的知识所能,将原著的理念真实地传达给热切期望的读者,只有这样才能不辜负所有关心这部译著的人的期望。之所以能尽快地将本书的第

2 版提交给出版社,这里离不开众多关心本书中文版出版的人们的关心,北京东方佳联影视技术有限公司的工程师赵颖女士参与翻译了本书第二版的第 13 章,其中我的两位研究生陈苇婧(现任职于北京人民广播电台)和郇睿(现任职中国传媒大学电视与新闻学院)也参与了本书第 1 版的前言和第 3 章的部分翻译工作,余下的章节由朱伟翻译,并对全书进行审定。其间我的家人也给予了很大的支持,使得我得以集中精力完成本书的翻译工作,在此表示深深的谢意。

本书第 2 版在编著理念上作了一定的改变,将第 1 版的内容进行了重新的修订和整合,使其更富逻辑性和系统性,增加了 3 章内容,其中第 13 章是全新的内容,主要是针对实际扩声系统的案例进行分析。

相信本书中文版的出版一定会给我国的扩声领域的发展起到推动作用,扩声系统的良好音质一定会给人们带来听感上的愉悦。

前言

本书讲述的是一段声音的旅程。一方面，该书的主题是关于声音的传播过程，即声音借助音响系统，将声波辐射到空气中，最后被广大听众所接收；另一方面，这段旅程也涉及了我一直在努力探索的复杂声音传播的本质过程。正文的主要部分将在技术层面探讨对这方面问题进行严谨的阐述。不过在此我想首先说说我个人的一些经历。

其实我本应该去建造大楼的。然而，1964年2月当我看到披头士出现在埃德·沙利文电视秀¹上时，我的理想不知不觉地发生了转变。就像我这一代的许多人一样，这一里程碑式的事件将流行音乐和电吉他融入了我的生活。我开始对现场音乐演唱会萌发出了极大的热情。年轻时只要有机会我都会去听现场音乐会。多年以来，我曾经一直期望涉足于我们家族的建筑行业，这个想法最终于1974年6月16日在爱荷华州得梅因的赛马场上终止了。“感恩死者”的音乐会²让我见识到了大规模的音响系统，正是这一经历为我的人生树立了新的目标。从那一天开始，我下定决心去从事现场音乐会音响方面的工作，想为别人去创造这样现场扩声的机会。我想成为一名调音师，我的理想就是有

¹ Ed Sullivan show：埃德·沙利文电视秀

² Grateful Dead concert：“感恩死者”的音乐会

一天能够为大型演出操控调音台。为了这个理想，我在印第安纳大学期间就开始制定相应的奋斗目标了。由于那时声频专业方面没有相应的学位，所以想实现目标并不是件简单的事情。不久我发现了一个自学课程，通过这门课程的学习，我搜罗了不同学科的相关资源。我通过对自创的声频工程专业的学习，最终获得了大学文凭。



1974年6月16日在爱荷华州得梅因举办的“感恩死者”的音乐会票根

一直到1980年，我度过了几年开车四处漂泊的时光，后来搬至旧金山，也就是在那里我与约翰·迈耶（John Meyer）、亚历山大·尤尔-桑顿二世（桑尼）[Alexander Yuill-Thornton II (Thorny)]以及唐·皮尔逊（Don Pearson）先生结

交为友。他们都是影响我专业发展的一些关键人物。我们每个人都注定要把我们的名誉押在双通道 FFT 分析仪上。

要说我从一开始就利用双通道 FFT 分析仪测量现场音乐会的声场,其实并非事实。这个方法是约翰·迈耶(John Meyer)在1984年5月某个周六的晚上提出的。约翰带着分析仪、一个模拟延时阵列和一些弹簧夹来到在亚利桑那州菲尼克斯举办的拉什的音乐会上。他以观众入座后为前提声场条件,用音乐作为声源进行了第一次音乐会音响系统的测量。直到下个周一的早晨,我才开始参与这个方案。



1984年7月14日于加利福尼亚州伯克利的希腊剧院举办的“感恩死者”的音乐会。作者同最初的SIM™的合影(摄影:克莱顿·考尔)

从那一天开始,每当我参与音乐会或音响系统设计时必然会用到双通道 FFT 分析仪。也是从那天起,我再也没有随便做过任何一场演出,而是重新修正我的目标去帮助调音师去实现他们的艺术追求。对唐、约翰、桑尼和很多人而言,设计一个不含 FFT 分析仪的系统的理念是不可想象的。既然选择了这条路,我们就要继续走下去。也正是从那个时

候开始,我们看到了它的重要性和实际意义。每一场音乐会都使我们对双通道 FFT 分析仪的理解呈指数形式的加深,我们的激动和惊喜溢于言表。当时我们都认为这是一项重大的突破,并且将它引荐给每一位开明之士。由 FFT 分析仪器演变而来的第一个产品是参量均衡器。我原打算为我的朋友罗布·韦尼希(Rob Wenig)做一个关于低音吉他前置放大器的研究项目,那时已经晚了6个月,但看来注定还要继续延期。我利用周末在门廊搭了一个均衡器的电路板,恰巧那时约翰正和拉什都在菲尼克斯。后来当约翰看到均衡器和他曾在菲尼克斯测量出的结论能够产生互补响应(振幅和相位)时,他激动的差点跌倒在地,此后 EQ 很快地投入使用。CP-10 参量均衡器的诞生所引起的争议是大家没有预料到的。均衡一直都是令人感兴趣的热门话题,而“均衡器能够抵消由扬声器和声学空间相互作用所产生的声学特性”这种假想是激进的,因此我们获得了斯坦福大学朱利叶斯·史密斯博士的支持,以保证这个假想在理论上能够成立。



1984年11月卢奇亚诺·帕瓦罗蒂、罗杰·甘斯以及作者(后排),德鲁·谢尔布、亚历山大·尤尔-桑顿二世与詹姆士·洛克的合影(摄影:德鲁·谢尔布)

在声频这个领域里，唐·皮尔逊（Don Pearson）是第一个我们公司以外真正接纳“音乐会上进行实时分析”这个观念的人，当时他是“感恩死者”音乐会的系统工程师。唐和他的乐队立刻看到了它的好处，而且他等不及 Meyer SIM 音响系统问世，很快便拥有了自己的 FFT 分析仪，此后便不断改进。从那以后，卢奇亚诺·帕瓦罗蒂（Luciano Pavarotti）就按照罗杰·甘斯（Roger Gans）的想法设计自己的演唱会，罗杰·甘斯（Roger Gans）是负责卢奇亚诺·帕瓦罗蒂（Luciano Pavarotti）大规模现场演出的音响工程师。当时我们认为在行业中，这种做法演变成一个标准化的操作程序只是几个月的时间问题，而我们却完全没想到它竟缩短了 20 年的技术进程。这段旅程，就像声传播的过程一样，远远比我们想象的复杂。因为有各种强大的力量接连阻挠我们。比如：许多声频组织反对使用这种声频分析仪，此外还存在提倡改变测量平台的其他机构。

总的说来，做现场工作的声频技术团队非常反对根据分析仪的判断去影响音乐层面的创作。在那时，大多数现场音乐会的扩声系统只不过由左右两个声道组成，没有什么复杂性可言。这意味着整个过程不牵扯均衡的调整。既然所有系统的标准都是由一个位置——调音位置来决定的，那么科学和艺术面临着几乎相同的问题。因为声频系统中音色的平衡现在是、并始终都是一种艺术的尝试，而“追求怎样的均衡才是正确的”这个问题有无数的相反的论点。究竟哪一个方式更好呢，是耳朵还是分析仪？这是个滑稽的问题。

这给我们提出了一个更具挑战而有趣的问题：对调音位置以外区域的听感追求。把测量传声器转移到空间中其他的位置就给我们带来了严重的问题。那些在新的拾音位置上得到的测量结果最终揭示出这样一个事实：构建一个一劳永逸的均衡系统全然只是幻想。参量滤波器完全是以

调音位置作为标准来进行精细调整的，它对其他位置的听感则全然不顾。扬声器系统各部分的相互作用带来极其多变的房间响应。于是我们的目标便从寻找一个最佳的均衡转变为对空间均匀度和一致性的探求。

这就要求音响系统要细分为一个个明确且可独立调整的子系统，每个子系统都具有独立控制电平、调整均衡和延时的能力。多个子系统可组成一个统一的整体。摇滚乐组织反对这个观点，主要是这样做就意味着要减小一些扬声器的电平。声压级保护协会¹坚决反对任何可能减损最大可承受功率的做法。在他们看来如果会耗费功率的话，就不值得为追求均匀度去细分系统。如果不进行系统细分的话，那么在调音位置上的分析是相当困难的。然而如果我们不打算改变什么，那又何必挖空心思去研究发展音响系统呢？

还有一些人面对这个问题显得非常开明。系统的细分要求传声器在房间可移动，同时要求用系统化的方式去拆解和重建音响系统。我们在帕瓦罗蒂的巡回演出中逐渐发展和完善了这个方法，当时帕瓦罗蒂大约用了十个子系统。当我们随同安德鲁·布鲁斯（Andrew Bruce）、阿贝·雅各布（Abe Jacob）、托尼·米奥拉（Tony Meola）、汤姆·克拉克（Tom Clark）等声频工程师转战到世界各地的音乐剧场时，我们的方法在更加复杂的系统中经受了考验。我们的重点从得到一个科学的音色感转变成给整个听音空间提供持续均匀的声音，而把音色的问题交给调音师来负责。这标志“EQ 警察”的年代已经结束，因为我们的重点从声音的质量转移到声场的均匀度上了。因此这个过程转变成了在系统包含均衡调整、电平设置、延时调整、扬声器摆位等的前提下，强调扩声空间的声场均匀度的最优化过程。

¹ SPL Preservation Society：声压级保护协会

在早期,人们评价一个调音系统是否成功就是将均衡器的滤波器移除而已。而现在,通过我们更有经验的方法,无需重现前、后的情况就能完成对系统的评价。为了听到“之前的”声音可能要求重置扬声器、查明极性反转、设置新的张角、重新设置电平大小和延时量,还要设置一连串的不同子系统的均衡量。最后,优化工程师的任务就变得很明确了:确保听众区域和混音位置的听感一致。

在 1987 年,我们引入了 SIM 系统——第一个多通道 FFT 分析仪的系统(最多可处理 64 个声道),它是为音响系统优化而特别设计的。SIM 系统是由一个分析仪、多路传声器和切换开关组成的,它可以存取一些均衡和延时的预置。所有这些都是基于计算机控制平台的,这个平台具有一个数据库,可存储并比较多达 16 种不同的位置或场景。这就实现了可以从多个位置去监听音响系统,并具备在其他区域察看系统的某部分改变后效果的功能。它还可以在演出时用多路传声器进行测量,以了解观众就座后对整个空间声学特性的影响。

这并不意味着我们就一帆风顺了,因为仍旧有大量令人困惑的疑难问题要我们去解决。频率响应是分为七个独立的部分来测量的,而充分描述某时刻某位置的特性的一组数据是一个 63 个参量的集合。然而四英寸的显示屏只能同时显示其中的两个参量,比较传声器的不同位置的性质必须以逐个比较作为基础(最多要操作 63 次)。形象地讲,这有点类似于透过镜头勾勒出一幅山水画。

多声道测量系统为系统细分开启了一扇大门,这个方法跨越了以松任谷由美(Yumi Matsutoya)为标志,川田绍夫(Akio Kawada)、麻栖秋良(Akira Masu)和富冈广(Hiro Tomioka)倡导的流行音乐方式。在日本,我们验证了这样一个事实:以前在音乐剧场给帕瓦罗蒂使用过的那套精尖的技术、多频段均衡以及精细配置的系统,同样也适用于

大功率摇滚乐的巡演。

这个测量系统作为商品推入市场后,在 1987 年开办了它的第一次培训课程。在第一次培训课程期间,正当我阐述到传声器的放置问题和如何为系统优化进行系统细分时,我遭到了戴夫·罗布(Dave Robb)的质疑,他是一个非常有经验的工程师,他认为我对传声器的摆放太过随意。依我看来,那个绝不是随意摆放的。然而在那个时候,我也提不出更多客观的标准去反驳他的断言。从那一次尴尬以后,我对每一个系统的优化方案都努力找到一套言之成理的根据。要想知道某些做法是否可行并不是很容易,我们还应当知道它为什么可行。那些优化的方案以及从音响系统设计中总结而来的方法便是这本书的根据所在了。在 1984 年以前,我对音响系统设计这方面毫无了解。我所学的有关音响系统设计的全部知识都是从系统优化的过程中积累的。我曾拆解和重建过别人设计的音响系统,这个过程给予我独特的能力和洞察力去鉴别哪些方面比较好、哪些方面是较差或极差。我非常幸运地在具备所有种类的节目素材和标准的条件下,接触了几乎所有不同种类的设计,并使用了不同的系统和扬声器产品。我所做的就是去寻求适用于不同场合的通用解决方案,并取其精华以便在下一轮的实践中提出可行的策略。

在第一次培训课开始,我在没有中断的情况下对系统进行了优化,并将我所学的知识毫无保留的讲授给所有愿意参与我们的研讨会的朋友们。桑尼在不断进步的同时还组建了一个公司,公司主要是通过运用双通道 FFT 系统来开展一些音响系统优化的业务,而从那时,系统优化开始逐渐形成一个独立的专业。

在桑尼(Thorny)和萨姆·伯科(Sam berkow)的合作下,以及杰米·安德森(Jamie Anderson)等人在随后几年的重大贡献下,SIA-SMAART 在 1995 年诞生了。这个低

成本的新产品使双通道 FFT 分析仪成为声频领域的主流产品，此外它也适用于各种程度的声频专业人员使用。尽管双通道 FFT 分析仪在 1984 年就出现了，然而使它成为标准化的现场扩声设备却用了很长时间，可喜的是这一天最终来到了。如果说以前调试一个系统用了科学仪器会让人吃惊，现在人们早已司空见惯了。

从那时开始，我们拥有了更好的工具——更完备的音响系统、更先进的音响设计工具，以及更优质的分析仪，并运用它们稳步前进。虽然这一过程这是个挑战，然而我们从未改变过对此的追求。即便对此的追求在空间声扩散的声学特性分析中完全失败过，我们也从未放弃对此的追求。目前我们用以覆盖声学空间的扬声器有了极大的改善，信号处理能力也比我们原先想象的好得多。现在一些预测软件唾手可得，它能够很容易地说明扬声器间的相互作用，此外我们也买得起运算速度极快、能提供实时数据的分析仪。

我们至始至终都在致力于同样一件事情：给场馆中的每个观众营造出均匀一致的听音经历。这其实是一个完全不可逾越、无法实现的挑战。因为不存在一个绝对完美的系统配置。我们期待的最佳效果是声场尽可能地能够趋近均匀一致，我相信将来会有所改善。我们必须做一些以牺牲某些方面性能为代价来提高其他方面的性能的决策，我们希望决定是可靠的，而并非随意而为的。

本书是沿着从调音台一直到听者的信号传输路径来写的。信号在整个电子化传输过程中发生了不寻常的改变。但是一旦电波转换为声波，它就进入了在 18 世纪琼·巴缇·傅里叶 (Jean Baptiste Fourier) 和 19 世纪 40 年代哈里·奥尔森 (Harry Olson) 研究的领域。声波一旦离开了扬声器就是纯粹的模拟信号，并完全受声学环境的制约。对这些不可改变的声传播问题的研究占据本书 90% 的篇幅。

让我们花一些时间来看一下我们所面临的困难，其中最大的困难就是扬声器之间和扬声器与房间之间的相互作用。这些相互作用极其复杂，我们可以将其分成两个明显的关系：相对电平和相对相位。两个相关声源的叠加会在空间中引起增强和衰减两种独特的空间分布。实际上每个频率的叠加是不尽相同的，这就引起了一个独特的分布。我们音响系统的频率范围是 $30 \sim 18000\text{Hz}$ ，其最长和最短的波长比为 $600:1$ 。从频率的空间分布角度来看，一个房间犹如一个每层楼设计迥异的高达 600 层的摩天大厦。我们的工作就是最大程度的发掘扬声器与房间几何形状相互作用后引发的那 600 种不同的设计。每一只扬声器单元和表面都影响了空间的声场分布，其中每个成分所扮演的角色直接与其在空间中的每个位置所贡献的能量成比例。叠加后最终的效果取决于各个频率在各个位置上相位响应的一致程度。那么我们如何了解所谓的“那些楼层的不同设计”呢？我们可以通过运用声学仿真程序去审查每层楼的设计，还可以互相对比找出它们的区别，这是在整个空间下去分析某一频率范围的概念。而通过声学分析仪可以看到不同的观点：用一根和我们手指般粗细的导管去观看（从地基到顶层）每层楼的同一位置。这是在同一位置去分析空间中整个频率范围的概念。

这是一个使人望而生畏却易于理解的工作。本书无需通过微积分学、数学积分或微分方程等计算就能让我们了解所有的细节。繁重的计算分析工作就让分析仪和仿真程序来完成吧。我们的重点是怎么去解读这些细节，而不是去了解这些细节的自体。这就如同医生只需读懂 X 光片，而无需知道如何制造 X 光机一样。

理解这个主题的关键以及贯穿始终的主题就是声源的特征。每只扬声器无论是大是小，都扮演其独有的角色，而且那些独有的特征是不会改变的。解决方案在本地一个

单元一个单元的进行实施。我们必须学会认识整体中的个体部分, 因为对于复杂的相互作用都存在一些解决方案。

这不是一个推理小说, 因此结论没有必要隐藏下去直到最后才揭晓。空间均匀度的关键是分离其相互作用。如果两只扬声器单元频率覆盖稳定, 那么它们必然有各自独立的覆盖范围。如果它们在相同或相近的电平下工作, 那么它们的覆盖角度必然是独立的。它们的分离度可能非常微小, 但它们轴上覆盖却不会交叠。如果忽视角度的独立性, 并且覆盖发生了交叠, 那么其中一个单元应减小其电平。扬声器和房间的相互作用同扬声器之间的相互作用很相似, 那些将能量反射回扬声器的情况将是我们关注的重点, 其向内的反射能力与空间均匀度呈反比例。

任何一个空间的设计方式都不是唯一的, 它存在很多不同的设计方案, 每一种设计在空间均匀度等其他关键标准上多少都有一些折中。然而现在保持空间均匀度和其他方面开放式的设计已成为趋势, 这些设计用以补偿统计上尚未解决的问题。本文的核心将着重阐述对决定空间均匀度具有潜在影响的扬声器结构。

一旦系统设计安装完毕, 就需要进行优化。如果说设计为空间的均匀度开启了一扇门, 那么我们的目标就是穿过那扇门排除重重困难。设计确定后没有唯一的优化方案, 只有有限的一些方案可以用来实现空间的均匀一致。优化的关键是对解决空间的均匀度决定性事件的定位和认知。扬声器和房间的相互作用随着空间上的一系列变化而产生了。这些过程彼此相互作用, 但这些相互作用并不是随机的。测量传声器的位置正是我们从许许多多建筑层面观看这个过程的位置, 测量传声器也能调节房间中所有方位影响。既然时间和资源都有限, 我们必须准确了解测量相互作用的最优位置, 以便于理解测量数据的含义。

我们经常看到考古学家提取骨骼的碎片并合成出一只

恐龙的工作情景。他们的结论得出完全是基于从动物解剖学的标准化进程中提供的前后的线索。如果说这个进程是随机的, 那只有 100% 化石的记录能够给予答案。从统计学的角度来审视, 即使安置了几百只传声器也很难剖析到扬声器系统更多的部分, 我们应当努力从每一次测量中都得到所需要的最大数据量。这就要求对事情的进程有一个预先的认识, 这样我们就能够看到特定位置上的响应。就像我们所认识的, 就单个位置的测量, 我们几乎得不出任何结论。给定空间在整体空间中如何分布的信息对于每一次测量来说都是非常必要的, 而这些测量将有益于空间中的多点。

本书阐述的是定义明确的扬声器、定义明确的设计布局以及定义明确的优化方案, 它不是普通声频材料的翻版。那一类书籍唾手可得, 并且对已有的声频描述都不够深入和全面。我希望通过一种简单的方式来介绍声频专业在音响系统应用中更深层次的含义, 从中引出前所未有且新颖独特的见解。

在正文开始前我想说一些值得注意的要点。最值得注意的是扬声器物理结构的制造加工和安装是不存在的, 因为扬声器通常是用其在空间中的声学性能来衡量的。只有个别的扬声器是例外, 是用其性能来描述的。这些性能特征是讨论的基本架构, 这意味着通过制造加工可以创造一个物理系统来满足全面的标准, 而这样的系统却不是本书所涉及的范畴, 那是纯粹的电子装置。本书所涉及的都是无重量的、无色的、无臭的, 这种装置的普通声传播特征正是我们研究的焦点, 而不是某个产品的唯一特征。

第二点是关于获取特定类型节目素材的途径, 例如流行音乐、音乐剧以及它们各自的会场, 如体育场、音乐厅、陈列室、礼拜堂等。其中重点就是声音覆盖范围的形式, 可以在给定的节目素材中通过调节合适的声压级来调整覆

盖范围的大小以适应场馆的规模。正是因为场馆和节目素材的同时出现才能产生应用程序。自然科学的规律对于任何一个应用都是一样的，由于节目素材和场馆是可互换的，以至于通过这种方式去区分两者需要重复无数次。毕竟，在现代的礼拜堂描述流行音乐如同在一个石头做的大教堂进行演讲和吟诵。

第三个值得注意的方面是，在书里面能够找到有大量独有的术语，某些情况，一般用途中会出现一些修正后的标准化术语。在大多数情况下，概念上的结构是独一无二的，也找不到现行的标准。音响系统优化的初期阶段是为在此演示的过程形成一个可靠的方法或表达的集合。在某些条件下，最值得注意的名词是“交叠”，在本文里将会说明一些修改它现有用法的原因，这些原因都非常有说服力。

本书分为3篇。第1篇讲“音响系统”，其目的是探究声音传输系统、人耳听觉和扬声器的相互作用。该部分

全面地讲解了信号的传输流程、途经可能遇到的一些因素以及终端如何接受信号。第2篇讲“设计”，它应用了第1篇所讲的知识去设计一个音响系统。其目的是广泛地理解和创建一个成功的传输/接受模型设计所需要的工具和技术。第3篇介绍“优化”，其重点是对设计和安装的测量，以及空间中的检证和校准。

这并非某一个人的探索，有许多志同道合的人都为这个领域做出了贡献，而这种追求和目标也是本书的主题。在开始进行这个研究时，我邀请了许多组织的成员，用自己的语言来表达他们共同的想法。我们可以从本书中听到他们的声音，我期待将来有一天你也能投身到这个领域研究中。

致 谢

本书伴随音响系统优化的过程走过了二十余年，如果没有约翰 (John) 和海伦·迈耶 (Helen Meyer) 的重大发现和鼎力相助，我也不会涉足于这个领域。他们提供了大量的财力和人力资源，这些条件恰好能够有助于研究的顺利开展并指导本书的写作。另外，我想对给我创造机会让我去进行音响系统实践提供方便的每位朋友表示感谢。在每次的实践经历中所学到的知识都是无可替代的。在此，我特别要感谢大卫·安德鲁斯 (David Andrews)、安德鲁·布鲁斯 (Andrew Bruce)、约翰·卡德纳尔 (John Cardenale)、汤姆·克拉克 (Tom Clark)、迈克·库珀 (Mike Cooper)、乔纳森·迪恩斯 (Jonathan Deans)、弗朗索瓦·德雅尔丹 (Francois Desjardin)、T.C. 弗朗 (T.C. Furlong)、罗杰·甘斯 (Roger Gans)、斯科特·格莱德希尔 (Scott Gledhill)、安德鲁·霍普 (Andrew Hope)、阿贝·雅各布 (Abe Jacob)、川田绍夫 (Akio Kawada)、托尼·米奥拉 (Tony Meola)、弗兰克·皮米斯克恩 (Frank Pimiskern)、比尔·普拉特 (Bill Platt)、皮特·萨夫 (Pete Save)、迈克·香农 (Mike Shannon)、罗德·辛顿 (Rod Sintow)、鲍勃·斯内尔格罗夫 (Bob Snelgrove) 以及汤姆·杨 (Tom Young)，多年来他们都给我提供了很多改进和提炼方法的机会，这些方法在文中都有所涉及。

我也要感谢每位参与到我的研讨会的朋友们，他们实时反馈的意见活跃了我的思维，并不断激励我坚持下去。从事这一领域的前辈和老师都在各种研讨和合作中做出了巨大的贡献，其中贡献突出的有杰米·安德森 (Jamie Anderson)、萨姆·伯科 (Sam berkow)、吉姆·库辛 (Jim Cousins)、毛里齐奥·拉米雷斯 (Mauricio Ramirez) 和富冈广 (Hiro Tomioka)。

我还想向我的同事致谢，他们和我分享交流经验，他们提出的个人观点给本书增色不少。

在撰写这本书的过程中，很多人给我提供了无私的帮助和指导。虽然写作对于我们来说其实是一个持久战，但在这个过程中的每个阶段都有人给我反馈意见并核对真实性。在他们的强烈要求下，我把封皮安排在早期经历以后，并设置了一些了解相关知识的途径以便于将我们以前的一些经历和先前确定的规律联系起来。这本书里有很多图示，这些图示的来源我将在此说明。图 1.15、图 1.22、图 2.29、图 2.30、图 11.12 ~ 图 11.16、图 12.8、图 12.21 和图 12.27 是我在 Mayer Sound¹ 工作时得到的，我获得了这些图片在本书中的使用权。图 1.2、图 1.7、图 1.8 和图 10.18 是

¹ Mayer Sound: 迈耶音响